

Teemu Suni

**FLEX-FUEL-TOIMINNON JA NAKUTUSKONTROLLIN
TOIMINTAAN SAATTAMINEN AHDETUSSA
OTTOMOOTTORISSA**

**FLEX-FUEL-TOIMINNON JA NAKUTUSKONTROLLIN
TOIMINTAAN SAATTAMINEN AHDEUSSA
OTTOMOOTTORISSA**

Teemu Suni
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikka, auto- ja kuljetustekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Teemu Suni

Opinnäytetyön nimi: Flex-fuel-toiminnon ja nakutuskontrollin toimintaan saattaminen ahdetussa ottomoottorissa

Työnohjaaja: Janne Ilomäki

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2016

Sivumäärä: 41 + 5 liitettä

Työn lähtökohtana oli tarve asentaa uusi moottorinohjaus Toyota Supran alkuperäisen moottorinohjausyksikön tilalle, sillä vanhan moottorinohjaimen suoja- toimet alkoivat rajoittaa moottorin viritysmahdollisuuksia. Lisäksi moottori haluttiin toimimaan 98E5- ja E85-polttoaineilla sekä niiden seoksilla.

Opinnäytetyössä tutustuttiin 98E5- ja E85-polttoaineeseen sekä Flex-fuel-toiminnon ja nakutuskontrollin optimointiin ahdetussa ottomoottorissa hyödyntäen nykyaikaista ohjelmoitavaa moottorinohjainta. Lisäksi tutustuttiin moottorin Flex-fuel-toiminnon kannalta tärkeisiin antureihin, joita ovat laajakaistalambda-anturi, nakutusanturi ja Flex-Fuel-anturi.

Työn tuloksena saatiin luotettavasti toimiva moottorinohjaus, jonka seoksen säätö toimii molemmilla polttoaineilla halutulla tarkkuudella. Myös nakutuskontrolli toimii ja myöhäistää sytytystä tarvittaessa. Uuden moottorinohjaimen ominaisuuksia on myös helppo muokata, jos järjestelmää halutaan päivittää tulevaisuudessa.

Asiasanat: Flex-fuel, nakutus, moottorinohjausyksikkö, Motec

ALKULAUSE

Opinnäytetyön aihe valikoitui oman harrastuksen ja mielenkiinnon pohjalta aiheeseen, josta saisin lisätietoa tukemaan koulutustani. Työn ohella tutustuin kokonaisvaltaisesti jälkiasennettavan uuden ajan moottorinohjauksen asentamiseen ja säätämiseen.

Haluan kiittää opinnäytetyön mahdollistaneita ja siinä avustaneita erikoisasiantuntija Arto Lehtosta, projektisuunnittelija Ray Färmiä, laboratorioinsinööriä ja työnvalvojaa Janne Ilomäkeä sekä opiskelutoveriani Rami Niirasta avusta.

Oulussa 3.2.2016

Teemu Suni

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 TYÖN KOHDE TOYOTA SUPRA MKIV	9
3 LAITTEISTO	11
3.1 Flex-fuel-anturi	13
3.2 Laajakaistalambda-anturi	15
3.3 Nakutuksen tunnistavat anturit	18
4 POLTTOAINEIDEN OMINAISUUDET JA VAIKUTUKSET	21
4.1 Lämpöarvo ja viskositeetti	21
4.2 Tiheys	21
4.3 Nakutuskestävyys	22
4.4 Etanolipitoisuus	22
4.5 Seossuhde	23
4.6 Lambda-arvo	24
5 PALOTAPAHTUMA	25
5.1 Moottorin työkierto	25
5.2 Nakutus	27
6 MOOTTORINOHJAIMEN SÄÄTÖ	28
6.1 PID-ohjaus	28
6.2 Sytytysennakon säätö	30
6.3 Nakutuskontrolleri	35
7 YHTEENVETO	38
LÄHTEET	40
LIITTEET	
Liite 1 Motec M1 Tune	
Liite 2 Motec i2 Pro	

Liite 3 Kibox Cockpit

Liite 4 98E5 APMAX, PMAX ja nopeus

Liite 5 E85 APMAX, PMAX ja nopeus

SANASTO

98E5	bensiinipohjainen polttoaine
ACL	Motecin valmistama tiedonkeruuyksikkö
E85	ajoneuvoissa käytettävä etanolipohjainen polttoaine
JYKK	jälkeen yläkuolokohdan
Lambda-anturi	pakokaasuista jäännöshapen lukeva anturi
LTC	Motecin valmistama lambda-anturin ohjainyksikkö
M150	Motecin valmistama moottorinohjainyksikkö
MAP	imusarjan paineanturi
YKK	yläkuolokohta

1 JOHDANTO

Työn lähtökohtana oli tarve saada uusi säädettävä moottorinohjausyksikkö Toyota Supra MKIV -harrasteajoneuvon alkuperäisen moottorinohjaimen tilalle, koska alkuperäistä moottorinohjausyksikköä ei pystytty säätämään. Lisäksi sen sisäiset turvatoimet alkoivat rajoittamaan moottoriin tehtävien muutosten hyödyntämistä, koska polttoaineen katkenta aktivoitui 1 bar ahtopaineella ja esti ahtopaineen nostamisen yli tämän arvon.

Työssä tutustutaan henkilöauton Flex-fuel-toimintaan ja toiminnan kannalta tärkeimpiin antureihin, joiden avulla henkilöauto saadaan toimimaan 98E5-bensiinillä ja E85-korkeaseosetanolilla. Työssä tutustutaan 98E5- ja E85-polttoaineiden eroavaisuuksiin ja tutkitaan polttoaineen vaikutusta moottorin tehoon ja kulutukseen. Tärkeänä osana uuden järjestelmän varmaa ja turvallista toimintaa on myös nakutuskontrolli, joka estää mahdollisen moottorin nakuttamisen.

2 TYÖN KOHDE TOYOTA SUPRA MKIV

Työ toteutettiin Toyota Supra MKIV -harrasteautoon (kuva 1). Ajoneuvo on Japanin tuontimalli, ja on valmistettu vuonna 1999.



KUVA 1. Toyota Supra MKIV

Auto on varustettu harrastajien keskuudessa hyvin tunnetulla 2JZ-GTE-moottorilla (kuva 2) ja Getragin valmistamalla V161-vaihdelaatikolla. Moottori on varustettu VVTi-tekniikalla, jossa on muuttuva imuventtiilin ajoitus.



KUVA 2. 2JZ-GTE VVTi -moottori (1)

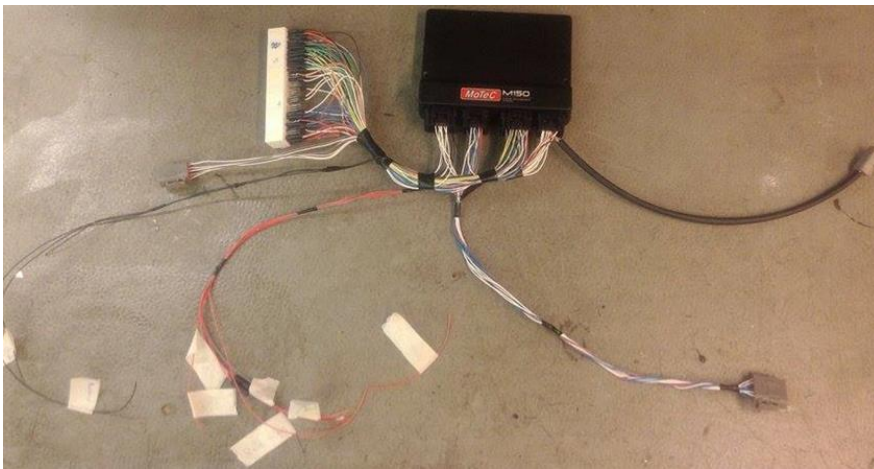
Työn ohella auto muutettiin toimimaan Motecin valmistamalla M150-moottorinohjausjärjestelmällä. Moottorinohjaimen liittämiseksi valmistettiin plug and play -johtosarja, joka liitettiin alkuperäisen moottorinohjaimen tilalle. Näin saatiin liitettyä uusi moottorinohjausyksikkö autoon ja säilytettyä moottorin alkuperäinen johtosarja ehjänä. Moottorinohjaukselle suunniteltiin ja ohjelmoitiin tarvittavat lisäominaisuudet Flex-fuel-tekniikkaa ja alkuperäistä sequential-ahdinjärjestelmää varten. Lisäksi moottorinohjaimen nakutuskontrolli saatettiin toimintaan. Laitteisto käyttää alkuperäisiä tunnistimia lukuun ottamatta lambda- ja imusarjan paineanturia. Edellä mainitut anturit päivitettiin laajakaistalambda-anturiin sekä 3,5 bar:n imusarjan paineanturiin.

3 LAITTEISTO

Moottorinohjauksena toimiva M150 on Motecin valmistama uudensukupolven moottorinohjaus (kuva 3), jolle pystytään ohjelmoimaan Motecin valmistamalla M1 Build -ohjelmistolla haluttuun käyttötarkoitukseen valmistettu Firmware.

Firmwaren muokattavuus mahdollistaa ohjaimen täydellisen muokattavuuden, joten rajoituksina toimivat vain sen sisääntulojen ja ulostulojen määrä.

Säätöohjelmanä toimi M1-sarjan moottorinohjaukselle suunniteltu M1 Tune (liite 1).



KUVA 3. M150-moottorinohjaus sekä plug and play -johtosarja

Motec M1 -moottorinohjaus tarvitsee laajakaistalambdan ohjaukseen erillisen ohjaimen, joksi valittiin Motecin valmistama LTC (kuva 4). LTC muuttaa lambda-anturin lähettämän signaalin Can-tiedoksi ja lähettää sen eteenpäin moottorinohjaimelle.



KUVA 4. LTC-ohjain (2)

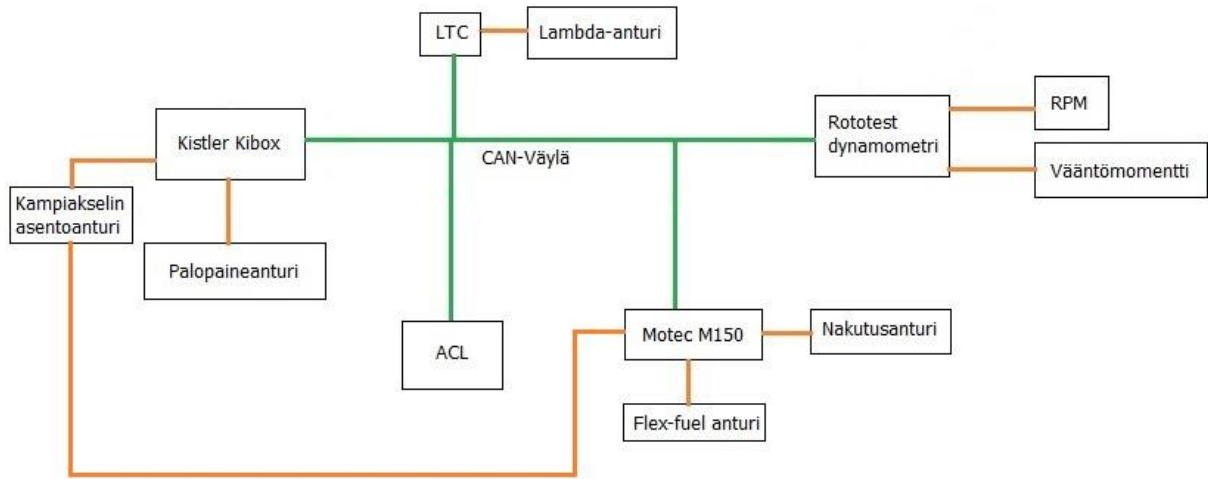
Dynamometrinä toimi OAMK:n autolaboratorion Rototest-alustadynamometri (kuva 5), joka kiinnitettiin suoraan auton napoihin. Tällä pystytään eliminomaan mahdollinen renkaan luistaminen ja saavuttamaan tarkemmat tulokset.



KUVA 5. Rototest-alustadynamometri (3)

Säätö- ja mittauslaitteistona toimi kuvan 6 mukainen kokoonpano, jossa kaikkien laitteiden lähettämät tiedot saadaan kerättyä CAN-väylän avulla ACL-mittalaitteistoon, joka tallentaa datan. Dataa voidaan jälkikäteen analysoida Motec i2 Pro -ohjelmistolla (liite 2). Laitteiston tallentama data saadaan kohdistettua keskenään samaan hetkeen moottorinohjaimelle ja Kistler-palopaineen mittausyksikölle tulevan kampiakselin asentoanturin pyörintätiedon

avulla sekä Rototestiltä tulevan navan pyörintänopeustiedon avulla. Tästä saadaan laskettua välityssuhteiden avulla moottorin pyörintänopeus.



KUVA 6. Järjestelmäkaavio

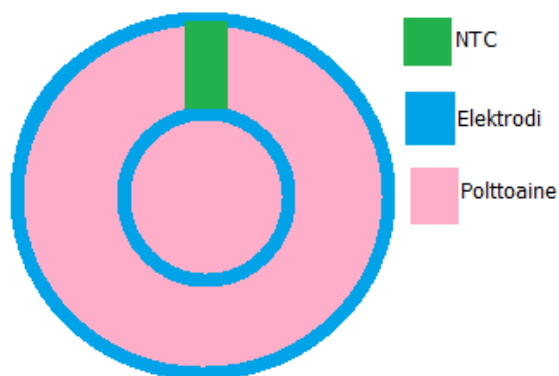
3.1 Flex-fuel-anturi

Flex-fuel-toiminnolla autossa voidaan käyttää valmistajan hyväksymää 98E5-polttoainetta sekä E85-korkeaseosetanolia tai näiden sekoitusta. Flex-fuel-toiminnon kannalta kaksi tärkeintä anturia ovat lambda-anturi ja etanolipitoisuusanturi. Etanolianturiksi kyseiseen tehtävään valittiin laajasti käytössä oleva Continentalin valmistama yksikkö (kuva 7).



KUVA 7. Continental Flex-fuel-anturi

Anturin lähettämä taajuus ilmoittaa alkoholipitoisuuden sen läpi virtaavassa seoksessa: 0 Hz = 0 % etanolia ja 150 Hz = 100 % etanolia. Anturin lähettämä jännite ilmoittaa polttoaineen lämpötilan. Anturin etanolipitoisuuden tunnistus perustuu sen elektrodipariin (kuva 8), jolle johdetaan jännite. Etanolipitoisuuden kasvaessa sen sähkömagneettinen säteily kasvaa. Lämpötilan mittauksessa käytetään NTC-vastusta. (4.)



KUVA 8. Periaatekuva Flex-fuel-anturin mittapäästä

Anturin toimivuuden kannalta sen parhaaksi sijainniksi on OAMK:n laboratoriomittauksissa todettu sen sijoittaminen polttoaineen tulolinjaan mahdollisimman lähelle suutinkiskoa. Tällöin anturin sisällä kulkee mahdollisimman vähän ilmaa ja anturi pystyy mittaamaan alkoholipitoisuuden

juuri ennen polttoaineen syöttämistä moottoriin. Asennuksia suorittavien yritysten asennusohjeissa anturin sijainniksi suositellaan kuitenkin useasti paluulinjaa. Anturi päädyttiin asentamaan paluulinjaan heti paineensäätimen jälkeen, jotta polttoainelinjasto oli helpompi toteuttaa.

3.2 Laajakaistalamdba-anturi

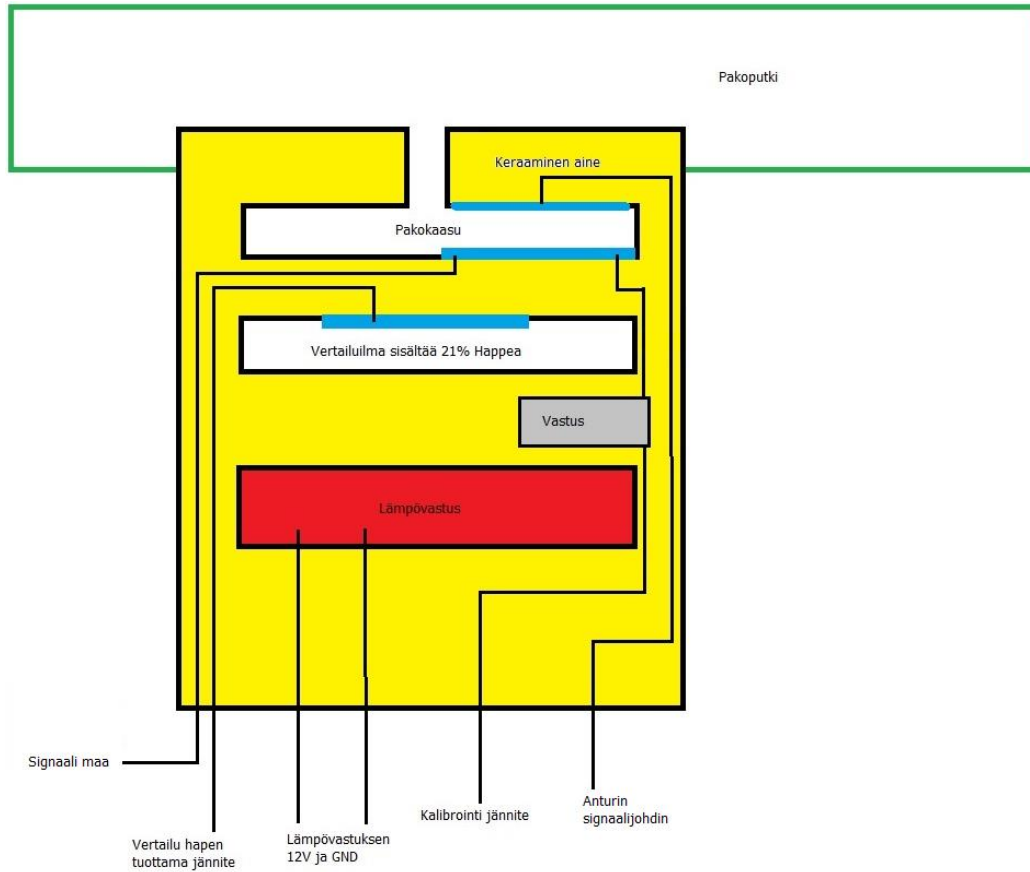
Laajakaistalamdba-anturin (kuva 9) toiminta perustuu kahteen kammioon.



KUVA 9. Bosch 4.9 laajakaistalamdba-anturi

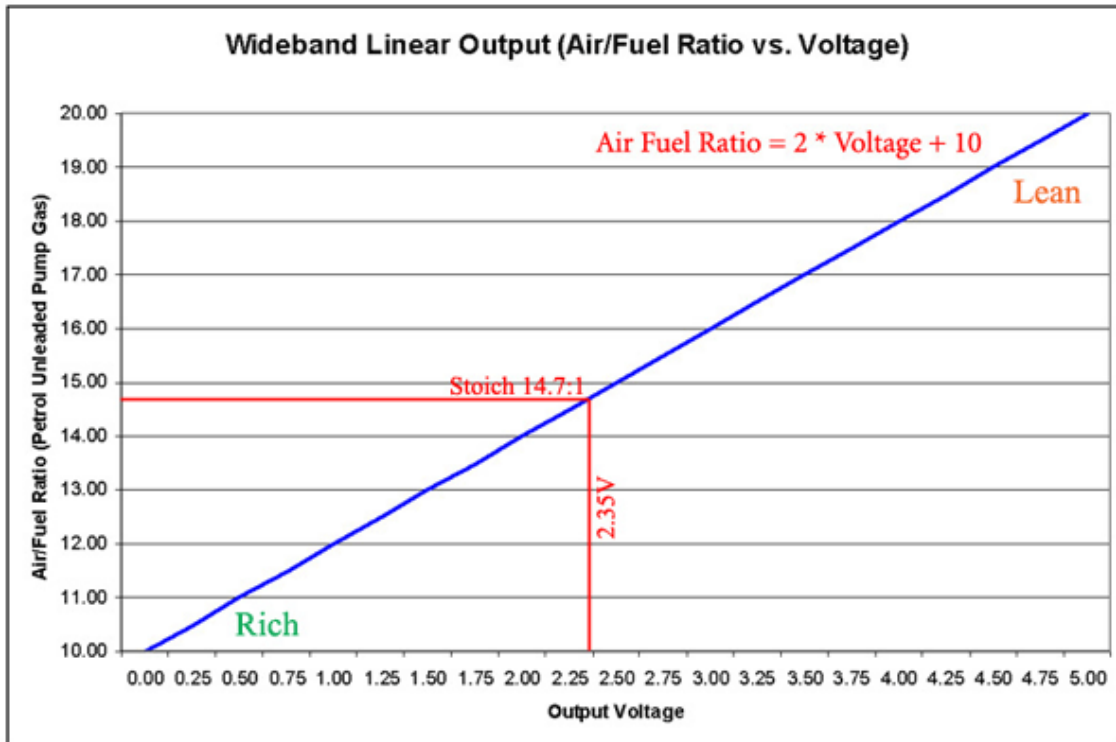
Kammioita kutsutaan Nerst-kammioksi ja pumppauskammioksi. Kammioita ympäröi ZrO_2 -keraami. Nerst-kammiossa on ympäristössä vallitsevaa ilmaa, joka sisältää 21 % happea. Tämä seos synnyttää kammiossa olevien platina-elektrodien avulla jännitteen, joka on 450 mV. Anturin mittaustoiminto perustuu pumppauskammion pyrkimykseen pitää sen happitaso samana kuin Nerst-kammiossa. Happitason muuttamiseksi pumppauskammion platina-elektrodin tarvitsema virran määrä muuttuu riippuen siitä, onko kammiossa oleva happitaso korkeampi vai matalampi kuin Nerst-kammiossa. Jos kammiossa on happylimäärä, pumppausvirran määrä muuttuu negatiiviseksi, jotta reaktio

vahvistuisi ja happea saataisiin kuljetettua pois kammiosta. Hapen määrän ollessa alle halutun arvon muuttuu tarvittu pumppausvirta positiiviseksi, jotta sinne saadaan korkeampi happipitoisuus (kuva 10). (5, s. 568.)



KUVA 10. Lambda-anturin periaatekuva

Jotta moottorinhjain pystyy lukemaan laajakaistalambdan signaalin, tarvitsee laajakaistalamdba-anturi ohjaimen, joka kontrolloi sen toimintaa ja muuttaa signaalin moottorinhjausyksikölle sopivaksi. Motec M1 -moottorinhjaukselle ei lähetetä jännitetietoa (kuva 11), vaan LTC muuttaa lambda-signaalin CAN-viestiksi ja lähettää tiedon moottorinhjaimelle väylätietona. Lisäksi LTC lähettää moottorinhjaimelle tietoa laajakaista-lamdban toimivuudesta. (6, s. 2.)



KUVA 11. Seossuhteen suhde jänniteeseen (7)

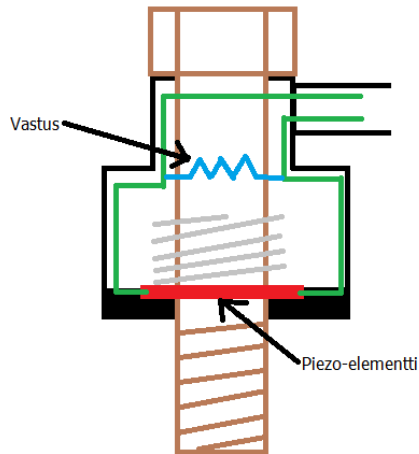
3.3 Nakutuksen tunnistavat anturit

Moottorinohjaukset käyttävät nakutuksen tunnistukseen nakutusanturia (kuva 12).



KUVA 12. Bosch-nakutusanturi

6-sylinterisessä moottorissa antureita on yleensä kaksi. Anturin sisällä on piezo-elementti (kuva 13), joka muuttaa kunkin sylinterin aiheuttaman värähtelyn sähköiseksi signaaliksi. (5, s. 536 - 537.) Signaalin taso muuttuu värähtelyn taajuuden mukaan. Moottorin synnyttämälle ominaisvärähtelylle annetaan maksimiarvo jokaiselle kierrosalueelle. Mikäli taso ei kuitenkaan pysy tällä alueella vaan sen signaaliin syntyy rajan ylittäviä piikkejä, tulkitaan tämän olevan nakutusta ja moottorinohjaus myöhäistää sytytystä pyrkien estämään nakutuksen syntymisen kyseisessä sylinterissä.



KUVA 13. Nakutusanturin periaatekuva

Nakutuksen tunnistamiseen voidaan käyttää myös paineantureita, jotka sijoitetaan sylinterikanteen palotilassa. Saatu painetieto mitataan kampiakselin kiertymäkulman funktiona. Tiedosta saadaan selville normaalin palamistapahtuman lisäksi nakutuksen aiheuttama painevaihtelu.

Paineanturit ovat vielä liian kalliita yleiseen käyttöön, joten tällä hetkellä niitä käyttävät lähinnä moottorivalmistajat ja laboratoriot. Mittaustiedosta saatavaa palamispaineen maksimiarvoa kampiakselin kiertymäkulman funktiona voidaan myös hyödyntää sytytyksen ajankohdan säätämisessä. Tällöin palamisen maksimipaineen paikka voidaan siirtää haluttuun kampiakselin asentoon, jolloin palotapahtuman synnyttämä energia saadaan kohdistettua mahdollisimman hyvin pyöriväksi liikkeeksi.

Mittalaitteena käytettiin Kistlerin valmistamaa järjestelmää (kuva 14), missä paineanturi on normaalin sytytystulpan tilalle sijoitettava anturi. Anturissa on sekä normaali sytytyskärki, että piezo-elementillä toimiva paineanturi. Mittaustietona saatu data käsiteltiin saman valmistaja Kibox-laitteistolla ja Cockpit-ohjelmistolla (liite 3).



KUVA 14. Kistler Kibox -mittalaite ja etualalla Kistler-palopaineanturi

4 POLTTOAINEIDEN OMINAISUUDET JA VAIKUTUKSET

Suomessa yleisimmät polttoaineet ovat 95E10, 98E5 ja diesel. Markkinoille on ilmestynyt myös koko ajan yleistynyt E85-korkeaseosetanoli. Työssä tutustutaan lähemmin 98E5-polttoaineeseen sekä E85-korkeaseosetanoliin. Polttoaineen tärkeimmät ominaisuudet ovat sen lämpöarvo, tiheys ja nakutuskestävyys. Euroopan alueella polttoaineiden laatua valvotaan standardin EN 228 avulla, joka polttoaineiden tulee täyttää. (5, s. 274.)

4.1 Lämpöarvo ja viskositeetti

Lämpöarvo kertoo polttoaineen energiasisällön kun yksi massayksikkö polttoainetta palaa. Palotapahtumasta saatu energia mitataan sinä aikana, kun palotapahtumassa kehittynyt vesi höyrystyy ja jäähtyy takaisin alkuperäiseen lämpötilaansa pysyen höyrynä. 98E5-polttoaineella lämpöarvo on 43,5 MJ/kg ja etanolilla 26,8 MJ/kg. Mitä alhaisempi polttoaineen lämpöarvo on, sitä enemmän polttoainetta vaaditaan, jotta moottori pystyy tuottamaan saman tehon. Happipitoisilla polttoaineilla, kuten etanoli on lämpöarvo matalampi, koska sen sisältämästä massasta osa on happea.

Tarvittuun polttoainemäärään vaikuttaa myös käytettävän polttoaineen viskositeetti. Mitä suurempi viskositeetti polttoaineella on, sitä hankalampi siitä on saada aikaan hienojakoinen sumu, joka sekoittuisi mahdollisimman hyvin ilman kanssa. Viskositeetista johtuen myös suuttimen aukioloaikaa on jatkettava saman polttoainemäärän toimittamiseksi sylinteriin. (5, s. 274 - 278; 8; 9.)

4.2 Tiheys

Polttoaineen tiheys kuvaa aineen massaa suhteessa sen tilavuusyksikköön. Polttoaineiden arvot ilmoitetaan 15 °C:n lämpötilassa. 98E5-polttoaineen tiheys on noin 752 kg/m³ ja E85-polttoaineella vastaavasti 778 kg/m³. (5, s. 274; 8; 9.)

4.3 Nakutuskestävyys

Oktaaniluku ilmaisee polttoaineen nakutuskestävyyden. Oktaaniluvun määrittämiseen käytetään kahta menetelmää. Euroopassa käytössä on research-menetelmä eli RON ja Yhdysvalloissa Motor-menetelmä eli MON. Mittaustapojen erona on MON-menetelmässä käytettävä esilämmitys, muuttuva sytytyksenajoitus sekä korkeampi kierrosnopeus. Tästä johtuen Euroopassa käytettävät RON-arvot ovat hieman korkeampia. 98E5:n oktaaniluku on RON-asteikolla 98 ja E85-polttoaineella taas vastaavasti oktaaniluku on vähintään 104.

Oktaaniluvun määrittämiseen käytetään standardisoitua sylinteriä, jonka puristusuhdetta voidaan muokata ja joka toimii 4-tahtiperiaatteella. Sylinteriin syötetään ennalta määritettyjen arvojen mukainen seos, jonka nakutuskestävyyttä verrataan vertailuseoksiin. Vertailuseoksista etsitään vastaavan nakutusherkkyuden omaava seos, jolle on annettu tietty standardisoitu oktaaniluku. (5, s. 274 - 283; 8 ; 9; 10.)

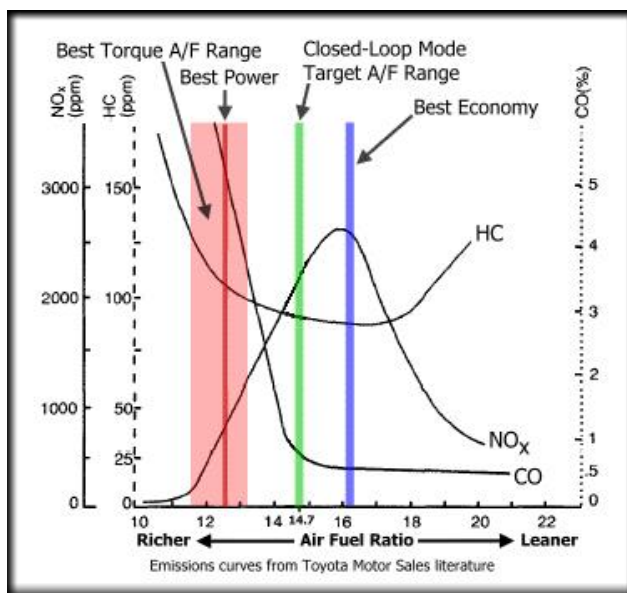
4.4 Etanolipitoisuus

Etanolipitoisuus merkitään polttoaineen nimessä kirjaimella E, ja sitä seuraava numero merkitsee polttoaineen sisältämän enimmäismäärän etanolia. Täten 98E5 sisältää 5 % etanolia ja E85 vastaavasti enintään 85 %. Suomessa vallitsevien talviolosuhteiden takia E85-polttoainetta on saatavina vuoden ajasta riippuen kesä- tai talvilaatuna. Kesälaadun etanolipitoisuus on välillä 75 - 85% ja vastaavasti talvilaadulla 70 - 85 %. Syynä tähän on talvilaatuun lisättävä bensiini, jotta sen kylmäkäynnistysominaisuudet paranevat. (8; 9.)

4.5 Seossuhde

Ottomoottorin toiminnan kannalta on tärkeää saada polttoaine ja ilmanseossuhde oikeaksi, koska seossuhde vaikuttaa merkittävästi käytettävän moottorin ominaiskulutukseen. Tätä seossuhdetta kutsutaan stökiometriseksi seossuhteeksi ja sen saavuttamiseksi tarvitaan 1 kilogrammaa 98E5-polttoainetta kohden 14,7 kg ilmaa. Vastaava luku E85-korkeaseosetanolilla on 1:9,85 kg/kg. Todellisuudessa täydelliseen palamiseen tarvitaan kuitenkin ilmaylimäärä, koska seoksen sekoittuminen ei ole täydellistä moottorissa. Seoksella on myös merkittävä vaikutus palotapahtumasta syntyvien pakokaasujen sisältöön sekä pakokaasunpuhdistuslaitteiston toimintaan. Kolmitiekatalysaattori toimii tehokkaimmin stökiometrisellä seossuhteella. (5, s. 498; 4; 5.)

Kuvassa 15 on esitetty seossuhteen vaikutus päästöihin ilman kolmitiekatalysaattoria. Punaisella on esitetty alue, jolla ottomoottorista saadaan paras tehollinen hyöty. Sinisellä on merkitty Toyotan laihaseosmoottorin seossuhde parhaan hyötysuhteen saavuttamiseksi.



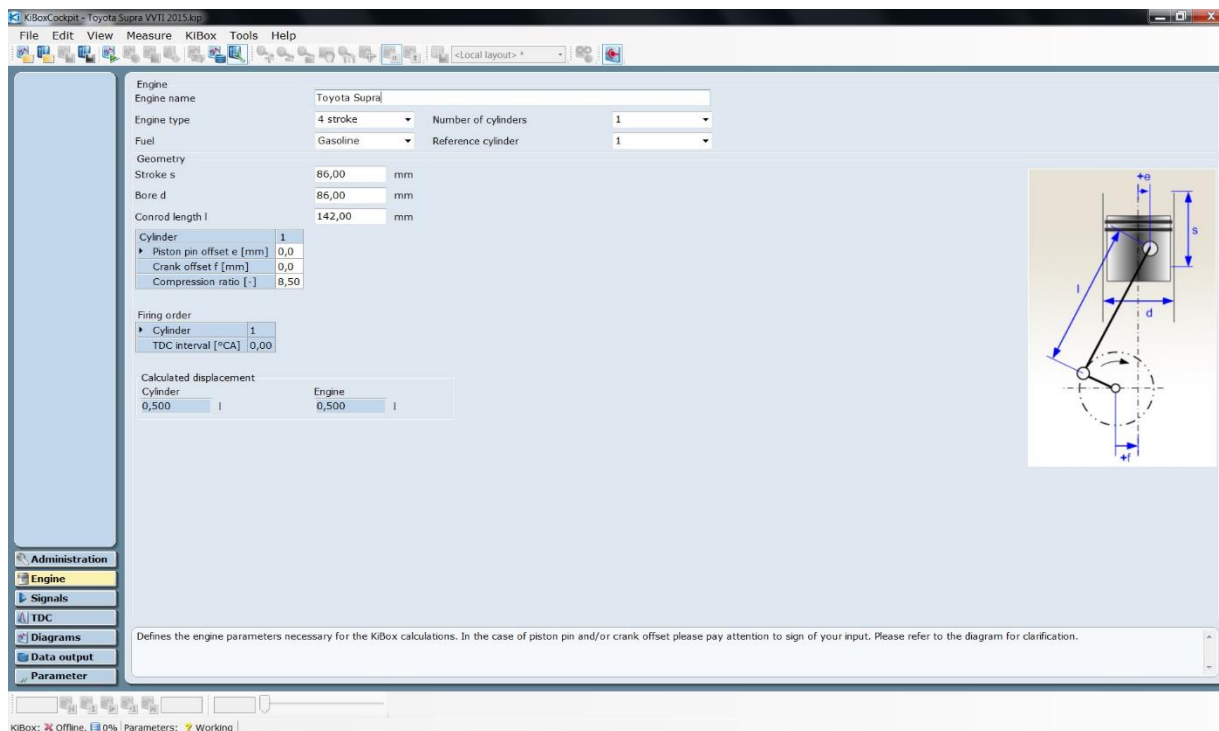
KUVA 15. Seossuhteen vaikutus (11)

4.6 Lambda-arvo

Lambda-arvo eli ilmakerroin kuvaa seossuhteen poikkeavuutta stökiometrisestä seossuhteesta. Lambda-arvon ollessa 1 on seossuhde stökiometrinen. Jos lambda-arvo on alle 1, on seos tällöin rikas. Rikastamalla seosta saavutetaan suurempi teho. Suurin mahdollinen teho saavutetaan, kun $\lambda = 0,85 - 0,95$. Jos lambda-arvo on suurempi kuin 1, vallitsee tällöin ilmaylimäärä. Tällöin polttoaineen kulutus on matalampi ja siitä saatava teho myös pienempi. Haettaessa alinta mahdollista polttoaineen kulutusta tulisi λ -arvon olla välillä 1,1 - 1,2. Se, paljonko moottori kestää laihentamista, riippuu suuresti käytettävästä moottorista. Mentäessä liian laihalle seokselle alkaa ilmenemään sytytyskatkoksia ja moottorin epätasaista käyntiä. (5, s. 562 - 586.)

5 PALOTAPAHTUMA

Kistler Kibox -laitteistolla määritetään sylinterissä vallitseva paine työkierron eri vaiheissa. Ohjelmisto ottaa huomioon moottorin tyypin, männän halkaisijan sekä kiertokangen- ja iskunpituuden (kuva 16). Painetiedosta saadaan määritettyä paine-tilavuuskuvaaja (PV-kuvaaja) jokaista mitattua työkiertoa kohden

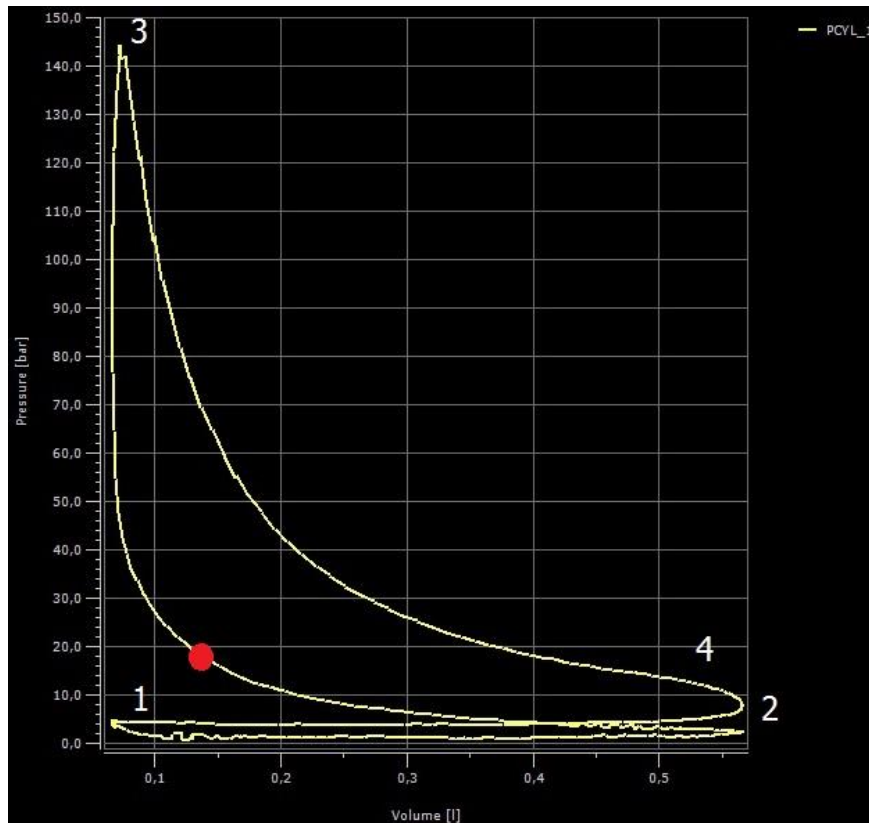


KUVA 16. Kibox Cockpit -ohjelmisto

5.1 Moottorin työkierto

4-tahtimoottorin työkierron eri vaiheet ovat imu-, puristus-, työ- ja pakotahti. Vaiheet on esitetty PV-kuvaajassa (kuva 17). Imuvaiheen (1 - 2) aikana moottorin imuventtiili on auki, jolloin imusarjasta imetään männän alaspäin synnyttämän alipaineen avulla tuoretta polttoaineseosta sylinteriin. Ahdetussa moottorissa imusarjan paineistaminen edesauttaa sylinterin täytöstä. Puristustahdissa (2 - 3) imu- ja pakoventtiili ovat suljettuina ja mäntä liikkuu ylöspäin synnyttäen puristusta. Sytytys antaa kipinän tämän työvaiheen aikana, jotta sylinterin maksimipaine saadaan haluttuun paikkaan. Kuvassa sytytys hetki on merkitty

punaisella. Työtahdin (3 - 4) aikana palotapahtumasta saatava paine puristaa mäntää alaspäin. Männän alaspäin kohdistuva liike muutetaan kiertokangen ja kampiakselin avulla kampiakselia pyörittäväksi voimaksi. Työtahdin lopussa pakoventtiili aukeaa, jolloin alkaa pakotahti (4 - 1) ja sylinterissä olevat pakokaasut pääsevät poistumaan sylinteristä.



KUVA 17. PV-kuvaaja

Kibox-laitteiston mittauksista tarvitaan seuraavat tiedot, jotta sytytyksen ajankohta ja nakutuskontrollin toiminta voidaan asettaa toimimaan optimaalisesti: maksipaineen paikka kampiakselin asteina (APMAX) sekä maksimipaineen arvo sylinterissä kullakin kierroksella (PMAX). Lisäksi tarvitaan nakutusta ilmaiseva tieto, joka saadaan painearvona (KPEAK). Kyseinen painearvo on edellisten mittauspisteiden minimi ja maksimiarvon keskiarvo suhteessa juuri mitattuun maksimiarvoon.

5.2 Nakutus

Normaalissa palotapahtumassa polttoaineseos sylinterin sisällä sytytetään ja palo lähtee etenemään palotilassa sytytystulpasta kohti sylinteriseiniä. Nakutusta ilmenee, kun palorintaman ulkopuolella oleva seos ei ole vielä syttynyt, mutta palotapahtuman ja puristuksen tuottama lämpö kuumentaa tämän jäännösseoksen yli syttymispisteensä. Syttymispisteen lämpötilan saavuttamisen takia jäännösseos syttyy räjähdysmäisesti.

Nakutuksessa sylinteriin muodostuu painepiikkejä, jotka kuormittavat mäntää (kuva 18), sylinteriä sekä männänrenkaita. Nakutusta voidaan estää rikkaammalla seoksella, jolloin polttoaineseos itsessään jäähdyttää sylinteriä tehokkaammin. (5, s. 415.)



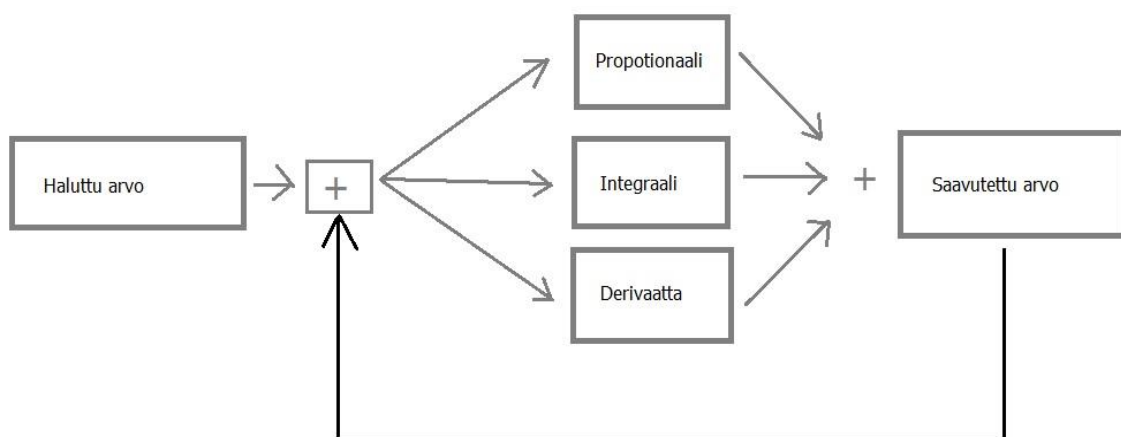
KUVA 18. Nakutuksesta vaurioitunut Subaru Imprezan mäntä

6 MOOTTORINOHJAIMEN SÄÄTÖ

Tärkeimmät säädettävät parametrit moottorinohjaimelle ovat käytettävä polttoaineen määrä suhteessa moottorille syötettävään ilman määrään ja sytytysennakko. Myös nakutuskontrolli voidaan laskea näihin, mikä on käytännössä varmuustoimi, jolla saadaan säädettyä sytytystä ympäristöstä tai polttoaineesta aiheutuvien muutosten kompensoimiseksi.

6.1 PID-ohjaus

Yksi yleisimmistä säätömenetelmistä on PID-ohjaus. Motec M1 -moottorinohjaimet käyttävät säätötapaa mm. lambdakorjauksessa. Kirjainlyhenne PID tulee ohjaimen eri toiminnallisista tavoista: P = propotionaali, I = integraali ja D = derivaatta. Säätimen kaikki osat voidaan asettaa toimimaan yhdessä tai niistä voidaan käyttötarkoituksen mukaisesti jättää osa pois toiminnasta. Ohjain laskee halutun arvon sekä saavutetun arvon erotuksen ja lisää siihen ohjaimeen määritettyjen arvojen mukaisesti korjausta. Tämän avulla säädin pyrkii saavuttamaan seuraavalle tahdille halutun arvon (kuva 19).

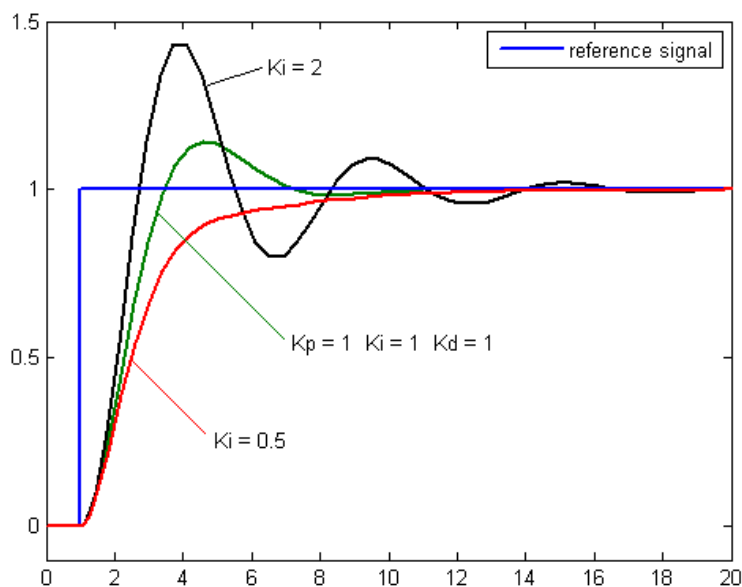


KUVA 19. PID-ohjaimen periaate

Propotional-ohjaus lukee halutun arvon sekä saavutetun arvon ja laskee niiden erotuksen. Tuloksen ollessa muu kuin nolla se lisää tai vähentää haluttuun arvoon prosentuaalisen määrän erotuksesta pyrkien näin korjaamaan

saavutettua arvoa. Integraali-osuus käyttää hyväkseen jo menneitä arvoja ja pyrkii näin poistamaan pidempiaikaista virhettä. Integraalin käyttämän korjausajan kasvaminen heikentää integraalin toimintaa, jolloin ohjain alkaa korjaamaan arvoa taas propotionaalnin avulla. Ohjaimen derivaatta osa tarkastelee säädettävän arvon muutosnopeutta ja pyrkii rajoittamaan säätimen turhan suurta korjausta. Liian suuren derivaatan haittapuolena on sen muodotama korkeiden taajuuksien vahvistaminen, joka näkyy muun muassa mittauskohinana. Lisäksi liian suuri derivaatta heikentää PI-ohjaimen toimintaa. (12, s.10.)

Ohjaimen vaikutukset voidaan havaita helposti esimerkkikuvasta (kuva 20). Kuvassa tavoite on ilmoitettu sinisellä viivalla. Mustalla esitetyssä tapauksessa on käytetty liian suurta integraalia, jolloin tavoitteeseen pääseminen tapahtuu nopeasti, mutta arvo karkaa liian suureksi. Punaisella on käytetty huomattavasti parempaa arvoa, mutta tavoitteeseen pääseminen kestää vielä pitkään. Vihreällä on nähtävissä kaikkien kolmen säädön yhdistelmä, jolloin tavoitteeseen on päästy nopeasti ja tavoiteltu arvo tasaantuu kohtuullisessa ajassa.



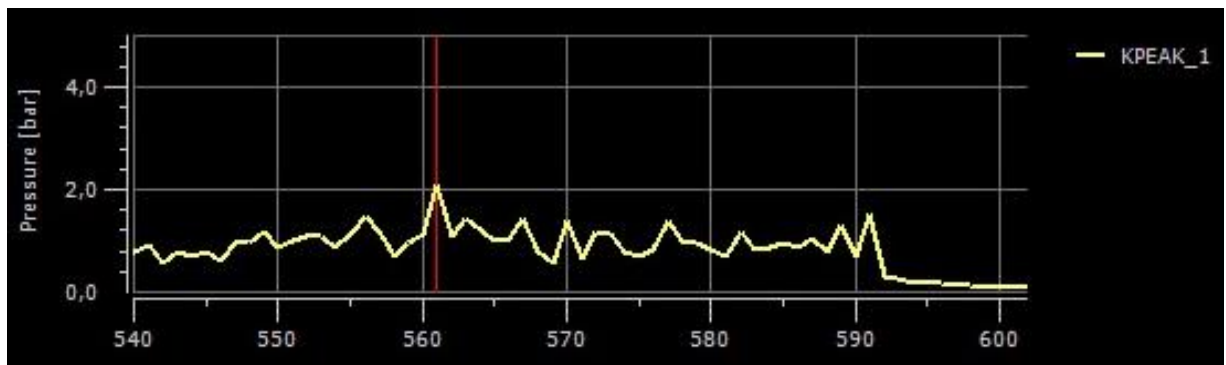
KUVA 20. PID-ohjaimen toiminta (13)

6.2 Sytytysennakon säätö

Polttoaineen ollessa valittu oikein kyseiselle moottorille sytytyksen paikan pienillä kuormilla määrää lähinnä haluttu palopaineen paikka. Optimaalinen maksimipalopaineen paikka on 12 - 15° YKK:n jälkeen, jolloin moottorin tuottamasta energiasta suurin osa saadaan kohdistettua kampiakselin pyörittämiseen.

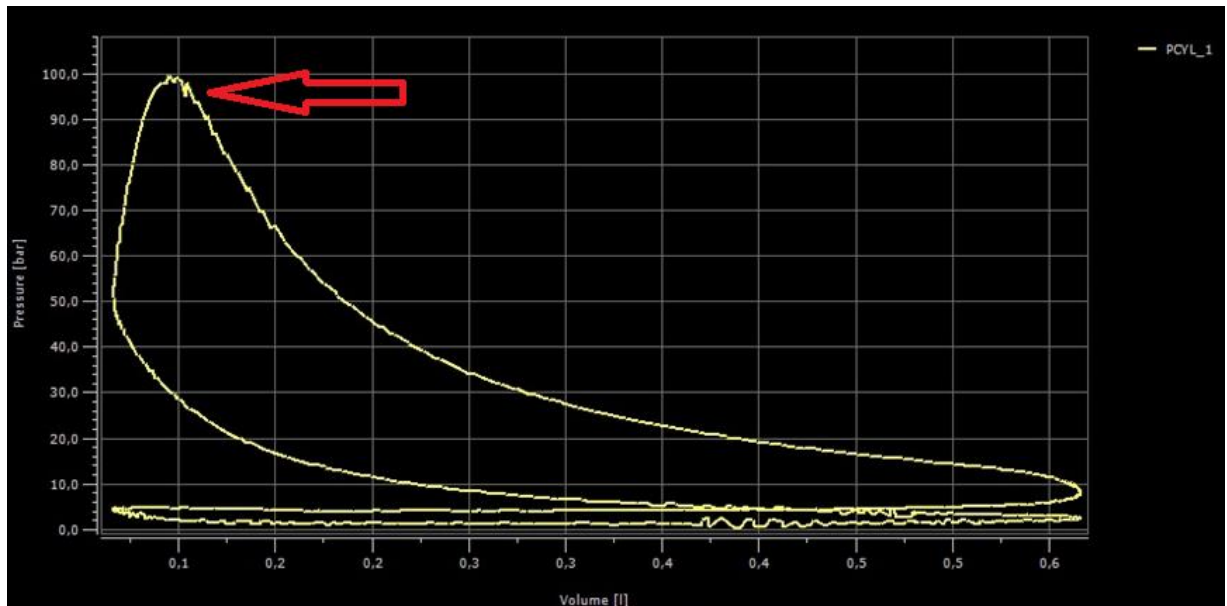
Korkeilla kuormituksilla ja kierroksilla polttoaineen puristuskestävyys saattaa alkaa rajoittamaan sytytyksen aikaistamista. Tällöin maksipaineen paikkaa ei voida asettaa enää haluttuun kohtaan, vaan sitä täytyy myöhäistää nakutuksen estämiseksi. Korkean viritystasoon omaavissa moottoreissa ongelmaksi muodostuu myös maksimipaineen paikan siirtyminen liian myöhäiseksi. Tällöin seoksen palaminen alkaa siirtymään lähemmäksi työtahdin loppuvaihetta, joka puolestaan alkaa nostamaan pakokaasun lämpötilaa. Lämpötilan liiallinen nouseminen voi aiheuttaa moottorin mekaanisen hajoamisen esimerkiksi sulattamalla männän, pakoventtiilin, pakosarjan tai turbon pakosiiven.

Sytytysennakkoa siirrettäessä liian aikaiseksi alkoi palotapahtumiin ilmaantua nakutusta, joka voidaan havaita KPEAK tiedosta (kuva 21).



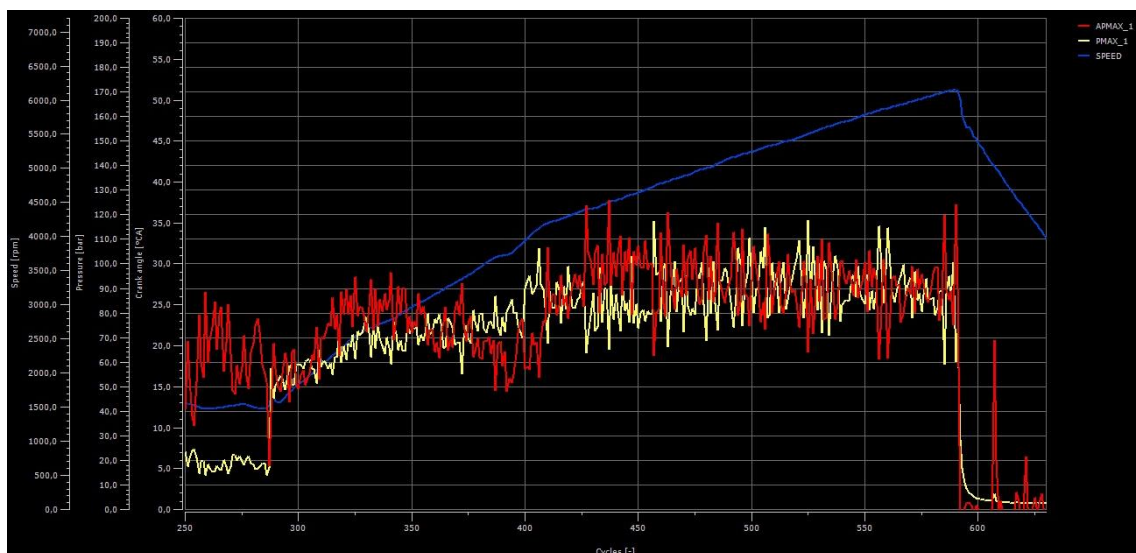
KUVA 21. KPEAK-painetieto kierrosten funktiona

Lisäksi nakutus voidaan nähdä myös kyseisen työkierron PV-kuvaajasta. Nakutus on havaittavissa heti, kun maksimipaine on saavutettu (kuva 22).



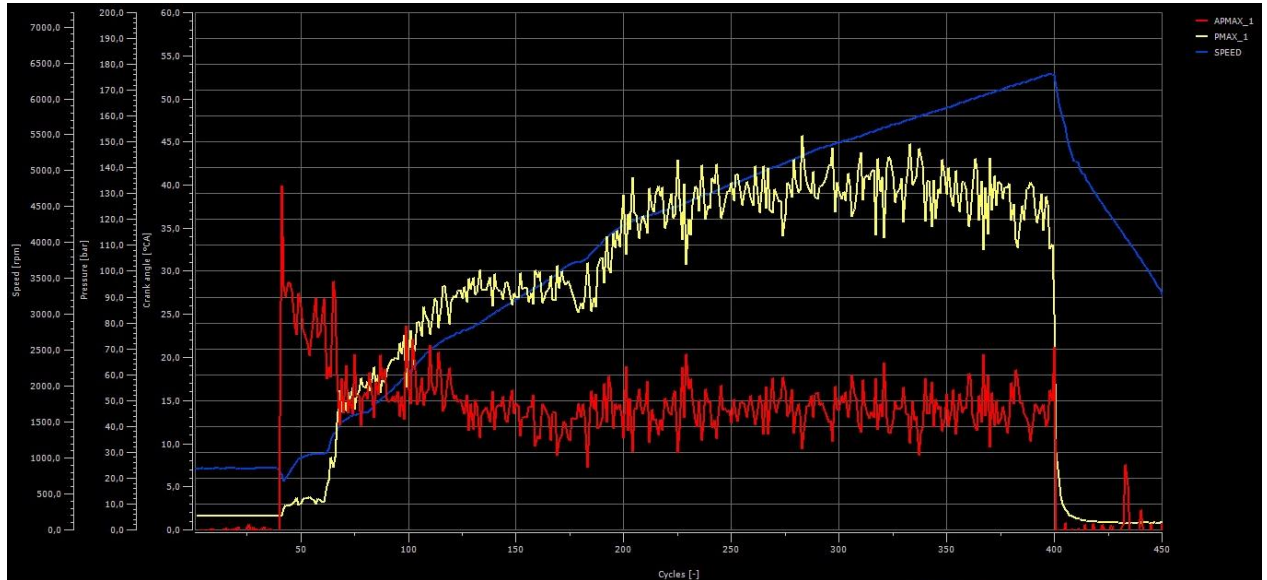
KUVA 22. PV-kuvaaja, jossa nakutusta kun huippupaine saavutettu

98E5-polttoaineella täydellä kuormituksella ajettaessa sytytysennakko jouduttiin myöhäistämään koko kierrosalueella, ettei nakutusta tapahtunut. Korkeilla kierroksilla palopaineen paikka siirtyi lähelle 30° JYKK. Kuvassa 23 punaisella on merkitty APMAX eli maksimipalopaineen paikka ja sinisellä moottorin pyörintänopeus. PMAX on maksimipaineen määrä sylinterissä kullakin kampiakselin kierroksella. Kuva suurempana liitteessä 4.



KUVA 23. Palopaineen paikka 98E5-polttoaineella

Vastaavasti käytettäessä polttoaineena korkeampioktaanisempaa E85:tä (kuva 24), sytytysennakko saatiin säädettyä siten, että maksimipalopaineen paikka on koko kierrosalueella noin 15° JYKK. Kuva on suurempana liitteessä 5.



KUVA 24. Palopaineen paikka E85-polttoaineella

Palopaineen maksimipaineen paikan vaikutus voidaan havaita myös selvästi kasvaneesta PMAX-arvosta sekä moottorilta saadusta vääntömomentista. Mittaukset suoritettiin samana päivänä imuilman lämpötilan ollessa noin 12 °C ja ilmanpaine 100,8 kPa.

Lambda-arvon tavoitteena molemmissa tapauksissa on ollut $\lambda = 0,8$, joka on toteutunutkin hyvin. Suurin poikkeavuus arvojen välillä on ollut kursorin kohdalla esitetty $\lambda = 0,026$ kuvassa 25.



KUVA 25. Vääntömomentti ja toteutunut lambda-arvo

Taulukosta 1 voidaan havaita, että E85-polttoainetta käytettäessä ahtopaine on ollut noin 7 kPa matalemmalla, mutta vääntömomentit ovat silti kasvaneet molemmissa tarkastelupisteissä huomattavasti. Jos paine olisi ollut sama, olisi ero ollut suurempi. Arvot ovat ilmoitettu kohdista, joissa 98E5-polttoainetta käytettäessä on saavutettu maksimi vääntömomentti sekä suurin teho.

TAULUKKO 1. Polttoaineen vaikutus tehoon

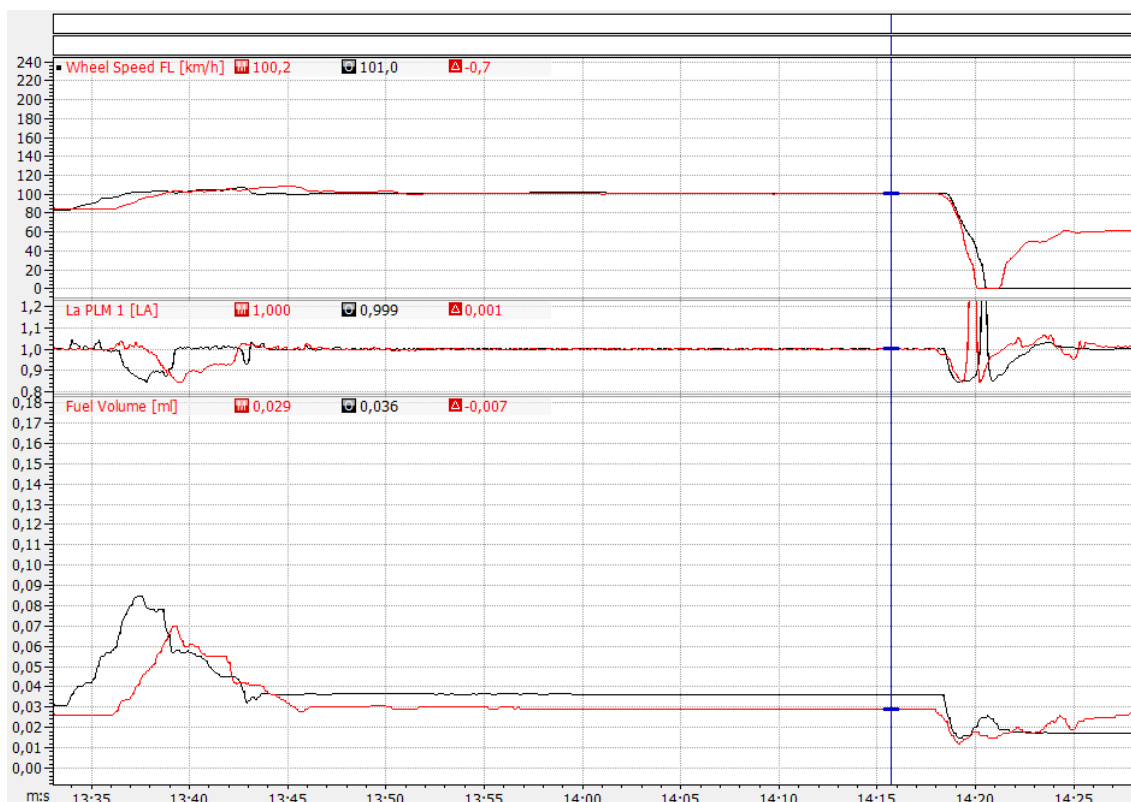
rpm	98E5	Ahtopaine 98E5 [kPa]	E85	Ahtopaine E85 [kPa]
4810	531,3Nm	105,5	575,6Nm	97,3
5840	490,2Nm	112,4	548,8Nm	105,7

Taulukossa 2 on esitetty polttoaineen kulutuksen muutokset ajettaessa tasaisella kuormituksella nopeuksia 60 km/h, 80 km/h ja 100 km/h, kun sytytysennakot molemmille polttoaineille oli säädetty optimaaliseksi. Tämän avulla pystyttiin havaitsemaan korkeaseosetanolin ja bensiinin kulutuserot yleisissä nopeuksissa.

TAULUKKO 2 Polttoaineen kulutusero

km/h	Lambda 98E5	Lambda E85	98E5 [ml/työkierto]	E85 [ml/työkierto]	Ero [%]
60	0,996	1,004	0,020	0,024	20
80	1,000	0,999	0,026	0,031	19,2
100	1,001	1,000	0,029	0,036	24,1

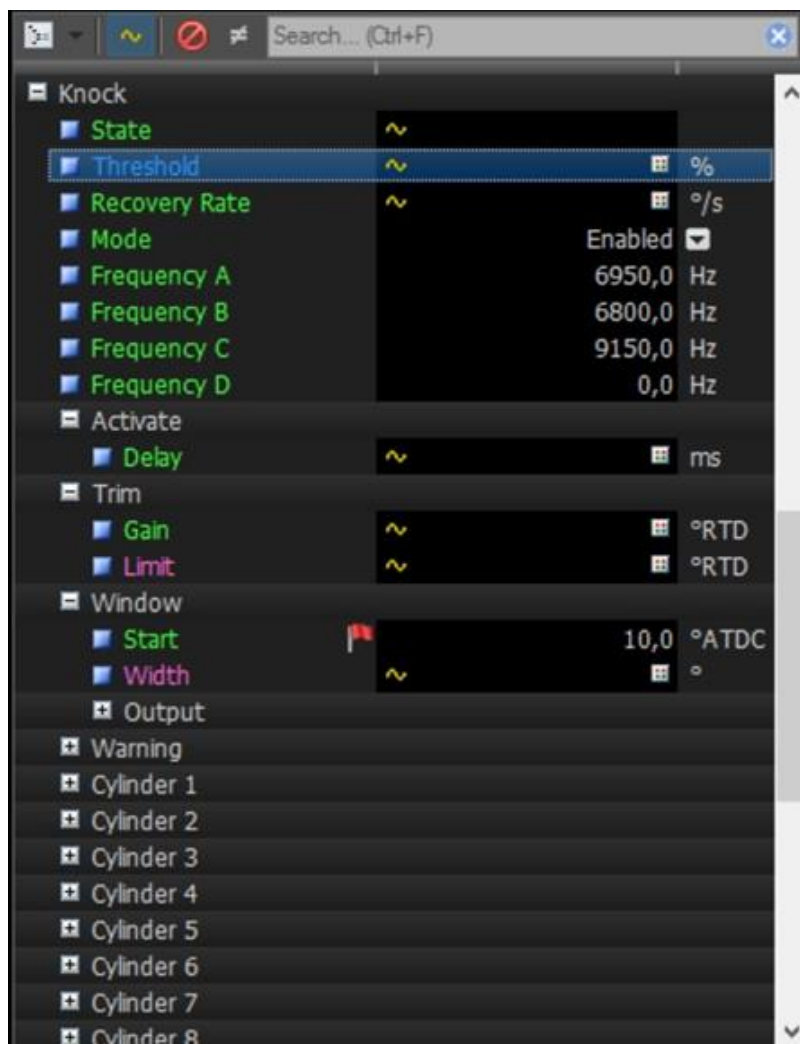
Kuvassa 26 esitetty tarkemmin testi nopeudella 100 km/h. Testin kulutusarvot on saatu Motec M150 -ohjelman laskennasta, jolla se määrittää sylinteriin sumutettavan polttoaineen tarpeen.



KUVA 26. 100 km/h testi, mustalla esitetty E85 ja punaisella 98E5

6.3 Nakutuskontrolleri

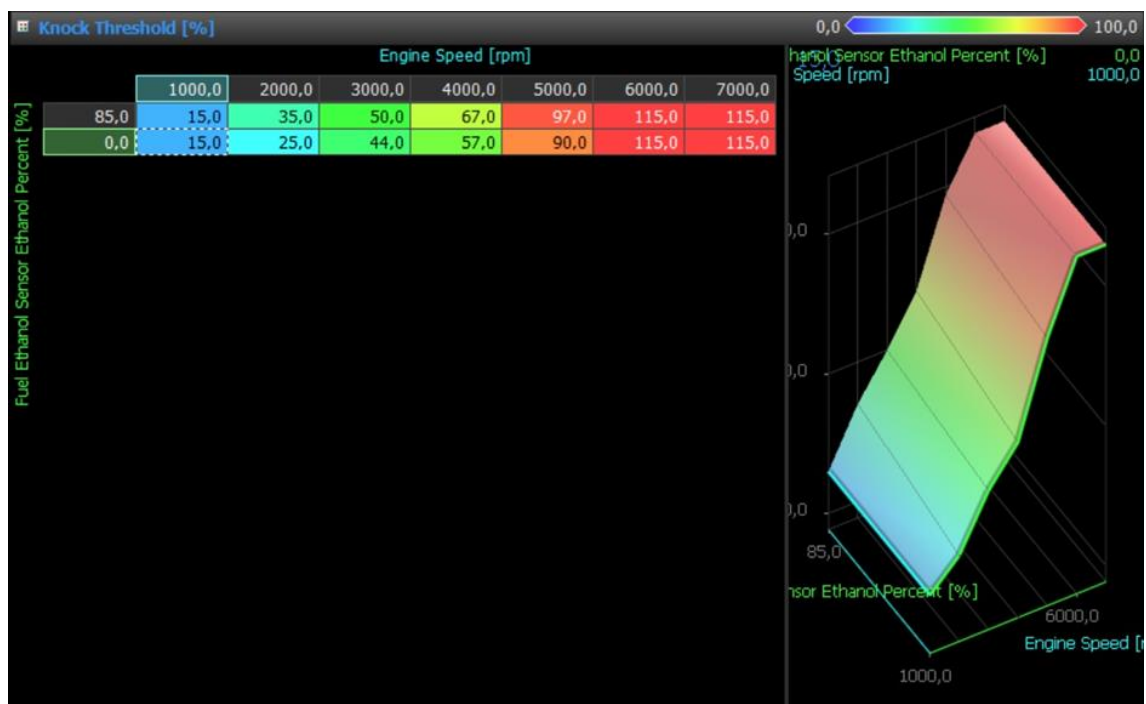
Nakutuksen tunnistuksen taajuuden määrittäminen tapahtui sijoittamalla kanaviin Frequency A - D taajuudet arvioidun nakutustaajuuden läheltä. Tämän jälkeen moottorille esiteltiin varovasti nakutusta. Tämä tehtiin aikaistamalla sytytystä, kunnes nakutusta alkoi esiintymään. Syntynyt nakutuspiikki näkyi parhaiten taajuuden 7 000 Hz kohdalla. Tämän jälkeen kyseinen arvo sijoitettiin kanavaan Frequency A. Kanaviin Frequency B - C sijoitettiin taajuudet, jotka olivat kyseisen arvon läheisyydessä ja testi toistettiin. Testin jälkeen taajuudeksi, jolla nakutus näkyy parhaiten, todettiin 6 950 Hz. Motec M1 -nakutuskontrollerin asetukset on esitetty kuvassa 27.



KUVA 27. Knock-kontrollinsäätö

Kontrollerin toiminta vaatii myös seuraavat arvot: Activate Delay, Trim Gain, Limit sekä Window. Activate Delay on aktivointiviive, jotta kontrolli ei alkaisi myöhäistämään sytytystä heti sytytyskatkon jälkeen. Lisäksi tarvitaan säädön rajoitusarvot, joita ovat Trim Gain eli prosentuaalinen korjauksen määrä suhteessa Thresholdin ylitykseen sekä raja-arvo (Limit), jota enempää sytytystä ei myöhäistetä. Window-kohtaan annetaan alue, jolla mahdollinen nakutus huomioidaan. Arvona käytettiin ohjelman suunnittelijan suosituksia, jolloin aloitus hetki oli 10° JYKK ja ikkunan pituus 60 kampiakselinastetta.

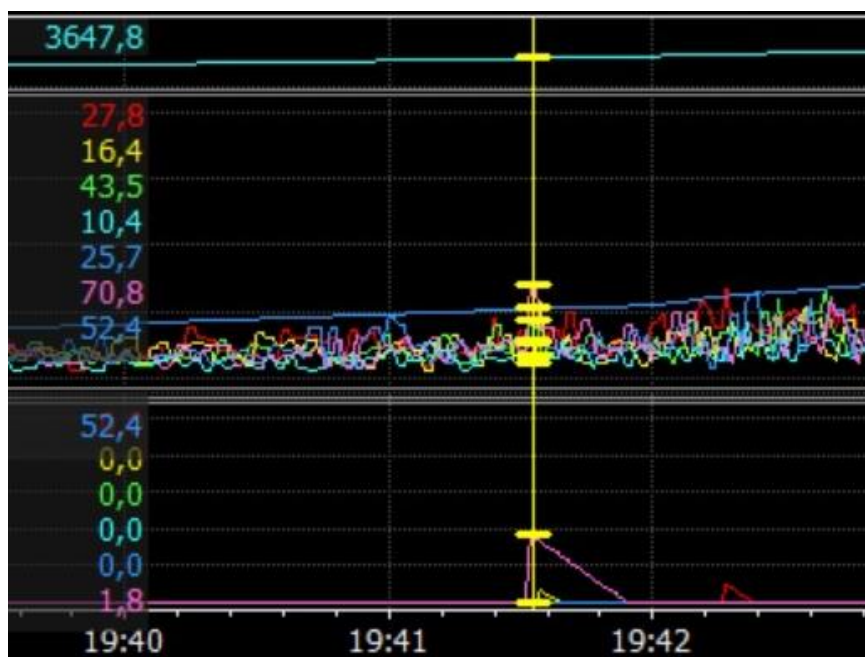
Tämän lisäksi ohjelmaan voidaan määrittää varoitus (Warning), joka ohjaantuu joko sytytyksen myöhäistyneen määrän mukaan ja/tai nakutuspiikin aiheuttaman tason mukaan. Ohjain tarvitsee toimiakseen kullekin kierrosalueelle määritetyn normaalista moottorinäänestä johtuvan taajuuden eli Threshold-ajan (kuva 28). Säädettäessä laitteistoa E85-polttoaineelle havaittiin, että moottorin normaali värähtelyn voimakkuus kasvoi suuremmaksi, joten kontrolliin lisättiin kolmas akseli, joka muuttuu etanolipitoisuuden mukaan.



KUVA 28. Threshold-raja-arvo

Nakutuskontrolli tarkkailee moottorin normaalista käynnistä aiheutuvan värähtelyn aiheuttaman äänen poikkeamia. Asetetun rajan ylittyessä nakutuskontrolli myöhäistää sytytystä halutun prosentuaalisen arvon verran, jotta seos ei syttyisi palamaan itsestään seuraavan työkierron aikana.

Kuvan 29 ylimmässä sarakkeessa on esitetty moottorin kierrosnopeus kyseisellä hetkellä. Keskimmäisessä sarakkeessa tummansininen viiva on kyseiselle kierrosalueelle asetettu raja-arvo, jolloin nakutuskontrolli alkaa myöhästyttämään sytytystä. Samassa sarakkeessa on havaittavissa kuusi viivaa, jotka kuvaavat kunkin sylinterin muodostamaa ääntä. Kursorin kohdalta on nähtävissä vaaleanpunainen viiva, joka nousee yli asetetun arvon. Kyseisen piikin maksimiarvo on ollut 70,8. Koska raja-arvoksi on asetettu 52,4, kyseisellä hetkellä raja-arvo on ylittynyt 18,4. Tästä johtuen nakutuskontrolli on myöhäistänyt sytytystä asetetun gain-arvon mukaan 10 %, joka on havaittavissa alimmassa sarakkeessa. Tämän jälkeen se on palauttanut sytytyksen alkuperäiseen arvoonsa noin 0,4 sekunnissa.



KUVA 29. Nakutustapahtuma

7 YHTEENVETO

Tavoitteena oli tehdä Toyota Supra MKIV -moottorinohjainlaitteen ja polttoainelaitteiston päivitys, jonka avulla tulevaisuudessa moottoriin tehtävät muutokset olisi entistä helpompi toteuttaa. Järjestelmä haluttiin toimimaan alkuperäisellä polttoaineella sekä E85-korkeaseosetanolilla. Moottorinohjaukseksi valittiin Motec M150, jolle pystyttiin ohjelmoimaan halutut lisätoiminnot.

Työssä saatiin toteutettua Motec M150 -moottorinohjaukselle sytytys- ja polttoainekartat, joilla henkilöautoa voidaan ajaa ongelmitta ja moottori kestää turvallisesti kuormitusta. Säädön jälkeisessä koeajossa autossa havaittiin nakutusta kohdalla, johon ei sytytyskartassa ollut puututtu erikseen vaan ohjelma laski keskiarvon ympärillä olevan pisteiden avulla. Nakutuskontrollin toiminta myöhäisti sytytystä kyseisellä nakutuksen hetkellä ja toimi täten halutulla tavalla. Nakutustapahtuman seurauksena sytytystä myöhäistettiin hieman kyseisessä kohdassa, jotta nakutusvaaraa ei enää syntyisi uudelleen kyseisessä tilanteessa. Ajoneuvon säätämistä tullaan jatkamaan vielä työn jälkeen, koska kiihdytysrikastusta ei saatu vielä toimimaan oikein.

Muutettaessa auto toimimaan korkeaseosetanolilla pystyttiin havaitsemaan sen mahdollistama hyöty, kun sytytysennakko pystyttiin säätämään siten, että palotapahtumasta vapautuva energia pystyttiin ajoittamaan paremmin kampiakselia pyörittäväksi voimaksi. Tämä pystyttiin havaitsemaan siirtyneestä maksimipalopaineen paikasta sekä kasvaneesta vääntömomentista. 98E5-polttoaineella maksimipalopaineen paikka oli välillä 20 - 30° jälkeen YKK ja vastaavasti E85-korkeaseosetanolilla 12 - 18° jälkeen YKK. Palopaineen paikan muuttumisen seurauksena moottorin vääntömomentti kasvoi maksimitehon kohdalla noin 8 % ja maksimiväännön kohdalla noin 12 % suhteessa 98E5-polttoaineella saavutettuihin arvoihin. Laskennallinen kulutuksen kasvaminen E85-polttoaineella oli noin 21 % normaaleissa matkanopeuksissa.

Työn suorittamista olisi helpottanut parempi perehtyminen moottorinohjaimen säätömahdollisuuksiin, jotka hidastivat huomattavasti kokemuksen puutteen takia. Varsinaisten karttojen ajamisen lisäksi autolla olisi kannattanut ajaa dynamometrissä myös enemmän tiekuormitustestejä. Tällä olisi pystytty varmistumaan paremmin sytytyskartan ja muiden ominaisuuksien toiminnasta myös osakuormilla.

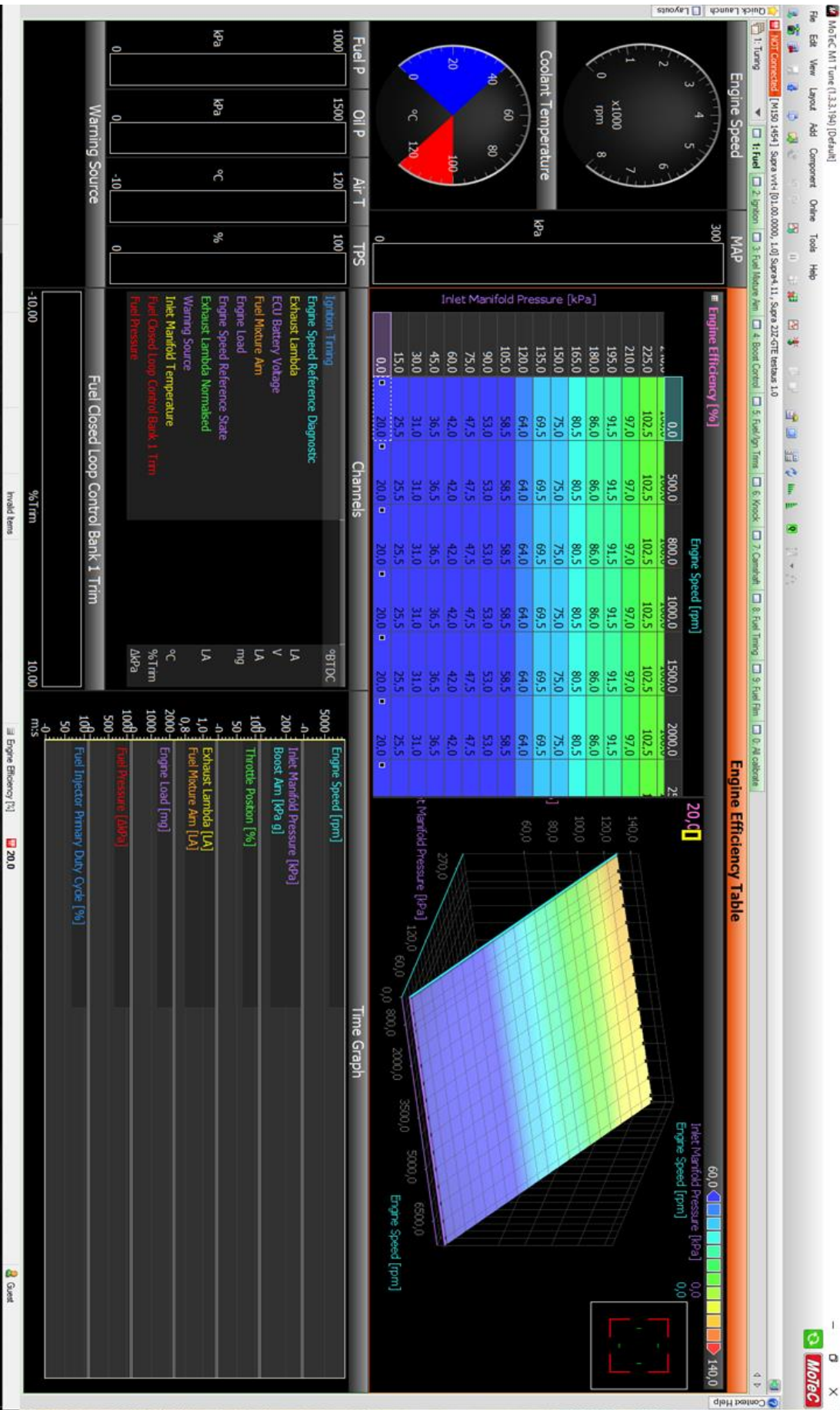
Työn aikana oli tarkoitus käyttää myös pakolämpöanturia, jota ei kuitenkaan ehditty koskaan asentamaan, koska auto jouduttiin siirtämään talvisäilöön ennen kelien huonontumista. Polttoaineiden eroavaisuuksia pystyttäisiin tutkimaan lisää mittaamalla moottorin tuottamaa pakolämpöä sekä vertailemalla polttoaineen vaikutuksen eroja samoilla sytytyksen asetuksilla. Lisäksi polttoaineen vaihdossa voitaisiin tutkia sen vaikutuksia moottorin synnyttämiin päästöihin.

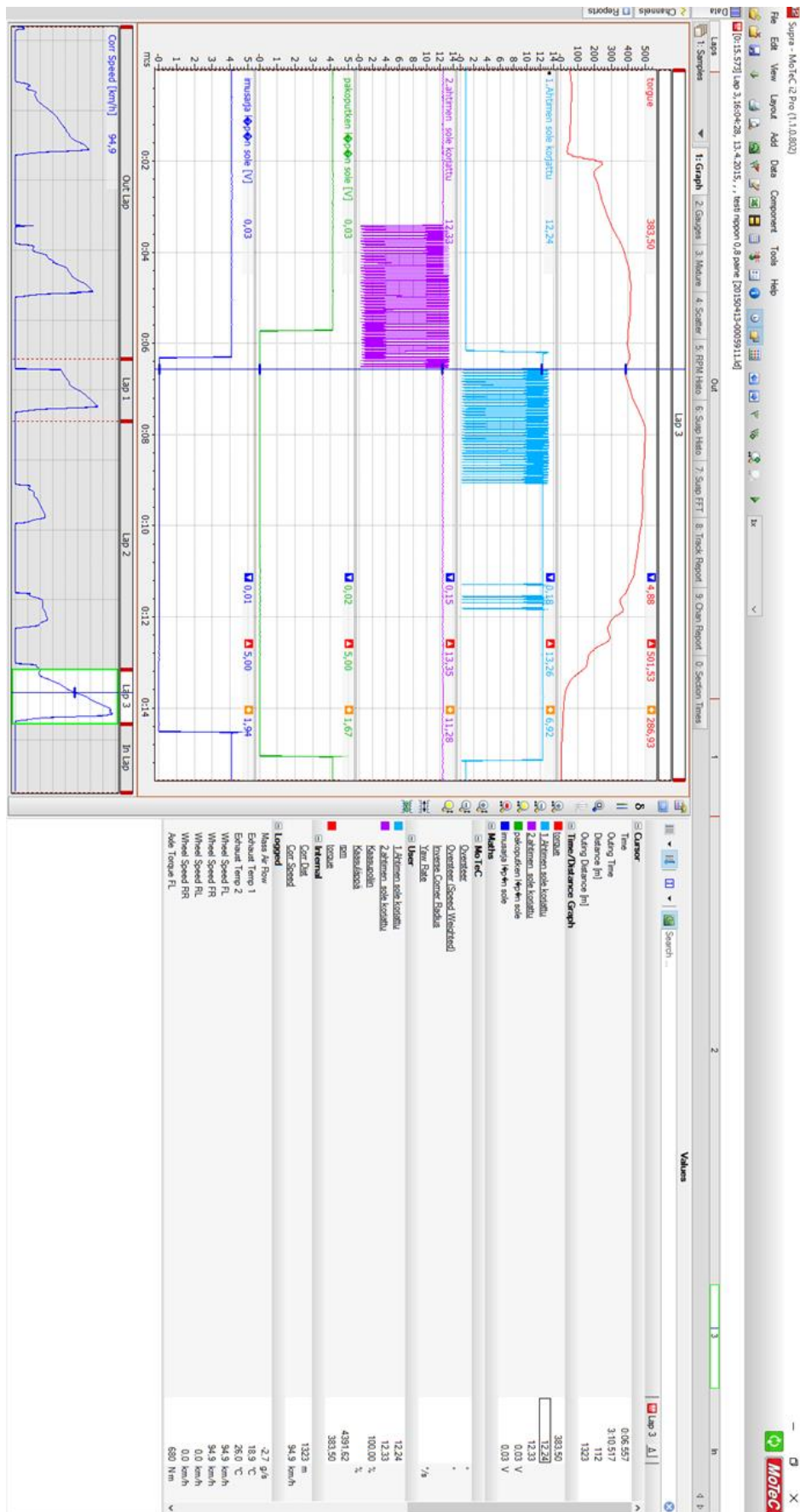
LÄHTEET

1. Japanese Domestic Market Versions (J-SPEC, RHD). Supra-Forum.com. Saatavissa <http://www.supra-forum.com/articles/toyota-supra-iza80/versions/j-spec/>. Hakupäivä 13.1.2015.
2. LTC. 2016. Motec Pty Ltd. Saatavissa <http://www.motec.com/ltc/lcoverview/>. Hakupäivä 13.1.2015.
3. The HUBDYN0 by Rototest. 2016. Rototest. Saatavissa <http://www.rototest.com/dynamometer/dyno.php?Visitor=2&DN=94>. Hakupäivä 14.1.2015.
4. Flex Fuel Sensors. CVEL. Saatavissa <http://www.cvel.clemson.edu/auto/sensors/flex-fuel-sensor.html>. Hakupäivä 3.10.2015.
5. Bauer, Horst - Crepin, Jürgen - Dietsche, Karl-Heinz - Dinkler, Folkhart. 2003. Autoteknillinen taskukirja. 6. painos. Robert Bosch GmbH. Suom. Jyväskylä: Gummerus Oy.
6. LTC LTCD LTCN User Manual. 2011. Motec Pty Ltd. Saatavissa <http://www.motec.com/downloads/downloadmanuals/>. Hakupäivä 6.1.2016.
7. SM-AFR iMFD Sensor Module – Wideband AFR. 2014. Race Technology. Saatavissa <http://www.race-technology.com/wiki/index.php/OtherSensorTypes/WidebandAFRSensor>. Hakupäivä 1.12.2015.
8. Korkeaseosetanoli RE85. 2014. ST1 OY. Saatavissa http://www.st1.fi/files/12697/RE85_tuotetieto_joulu2014.pdf. Hakupäivä 8.1.2016.

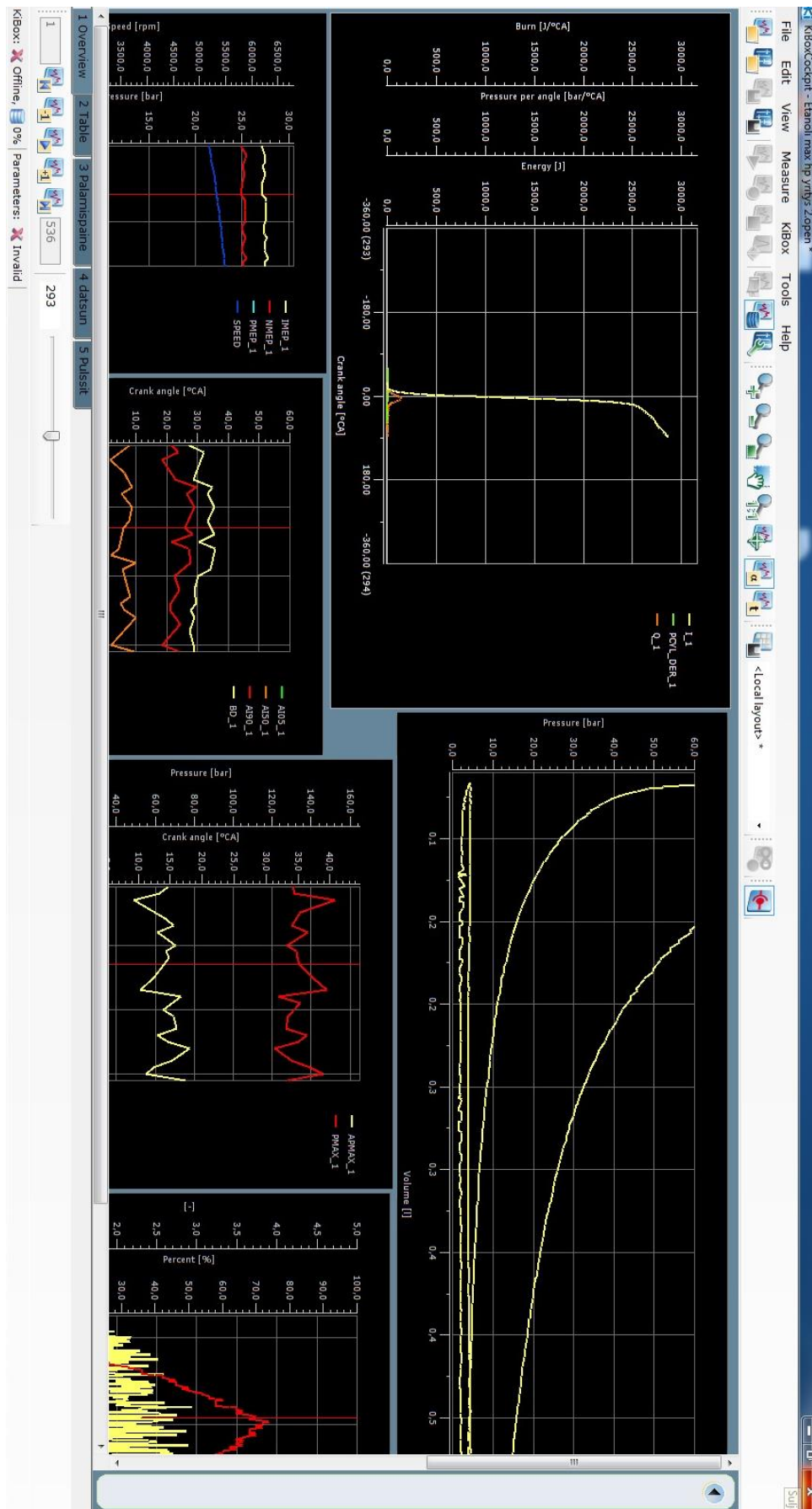
9. Moottoribensiini 98E5. 2015. Neste Oyj. Saatavissa https://www.neste.fi/doc/130178_fi.pdf. Hakupäivä 3.10.2015
10. D2699-15a Standard Test Method for Research Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel. 2015. ASTM International. West Conshohocken, PA. Saatavissa <http://www.astm.org/Standards/D2699.htm>. Hakupäivä 8.1.2016.
11. Air Fuel Ratios and Stoichiometry. 2007. EndTuning. Saatavissa <http://www.endtuning.com/afr.html>. Hakupäivä 2.12.2015.
12. Kurki, Heikki 2008. Automaatiotekniikka. Sähkötekniikan perusteet.doc. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö. Saatavissa <http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/Servomoottori/Automaatiotekniikka-Koneos/>. Hakupäivä 8.12.2015.
13. PID controller. 2016. Wikipedia. Saatavissa https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller. Hakupäivä 1.2.2016.

Motec M1 Tune

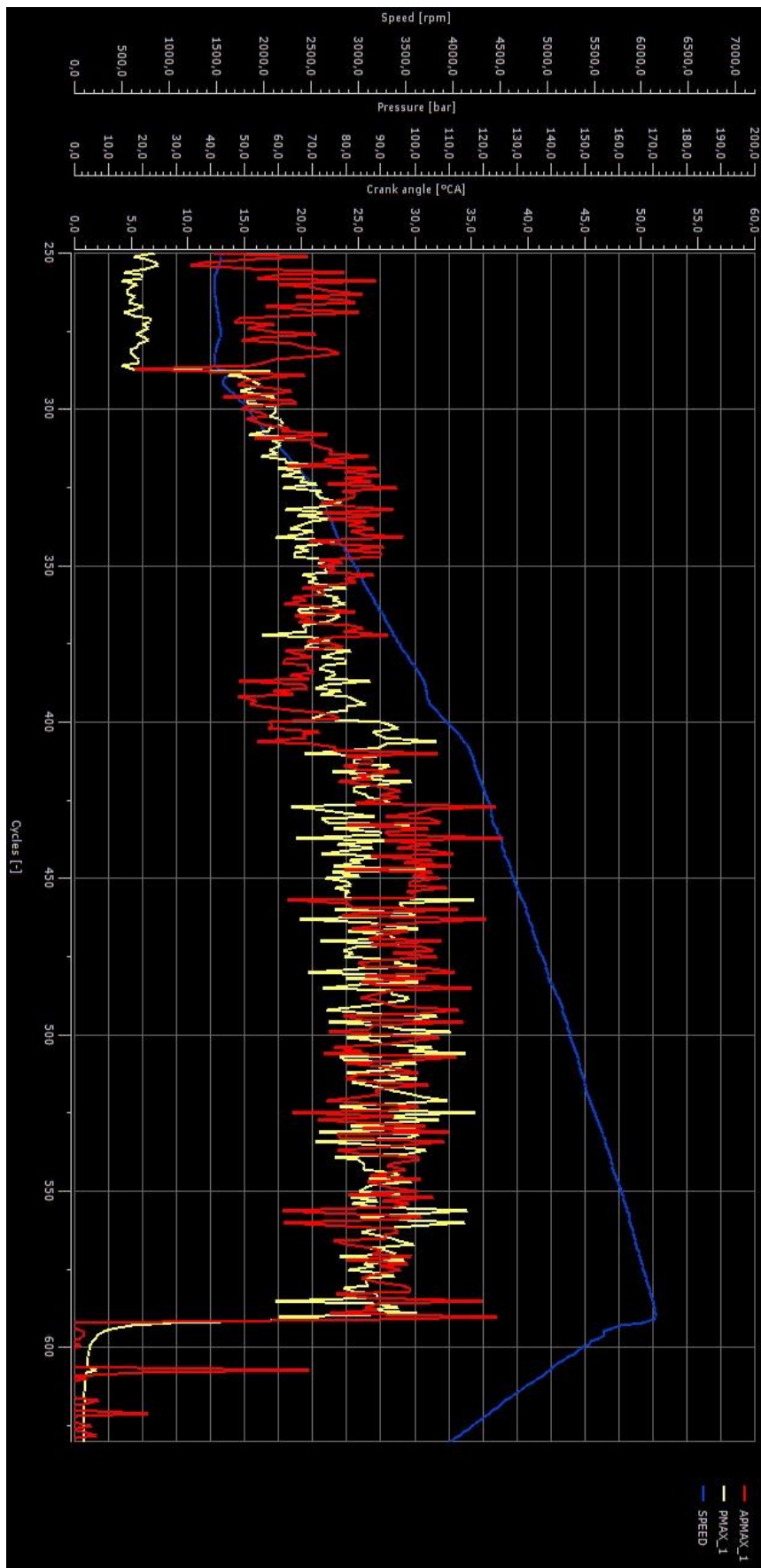




Kibox Cockpit



98E5 APMAX, PMAX ja nopeus



E85 APMAX, PMAX ja nopeus

